

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-264814

(43)Date of publication of application : 07.10.1997

(51)Int.Cl.

G01M 11/02

(21)Application number : 08-076735

(71)Applicant : ADVANTEST CORP  
KOSEKI TAKESHI

(22)Date of filing : 29.03.1996

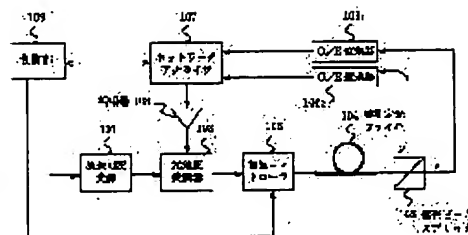
(72)Inventor : KOSEKI TAKESHI  
MORI HIROSHI

## (54) DEVICE FOR MEASURING POLARIZATION MODE DISPERSION

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To widen the range of to-be-measured object by, through a light intensity modulator, adjusting the intensity of output light of a wavelength variable light source so that it becomes a sine wave of a specified frequency.

**SOLUTION:** A light intensity modulator 102, which intensity-modulates input light, intensity-modulates the output light of a wavelength variable light source 101 so that its intensity becomes a sign wave of a fixed frequency of about intensity of a few GHz and then outputs it to a polarization controller 103. The controller 103 controls polarization state of input light, and its output light is, through a sample optical fiber 104, made incident on a polarized light beam splitter 105. An (s) polarized light component and a (p) polarized light component of the beam splitter 105 are converted into electric signals by an O/E converters 1061 and 1062, and then inputted into a network analyzer 107. The analyzer 107 obtains a polarization mode dispersion from the input value. In addition, it controls intensity modulation ratio at the modulator 102 through an amplifier.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.02.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3131144

[Date of registration] 17.11.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-264814

(43)公開日 平成9年(1997)10月7日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 M 11/02

G 0 1 M 11/02

K

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平8-76735

(22)出願日 平成8年(1996)3月29日

(71)出願人 390005175

株式会社アドバンテスト

東京都練馬区旭町1丁目32番1号

(71)出願人 596043704

小関 健

埼玉県川口市栄町3-11-17-903

(72)発明者 小関 健

埼玉県川口市栄町3-11-17-903

(72)発明者 森 宏

東京都練馬区旭町1丁目32番1号 株式会社アドバンテスト内

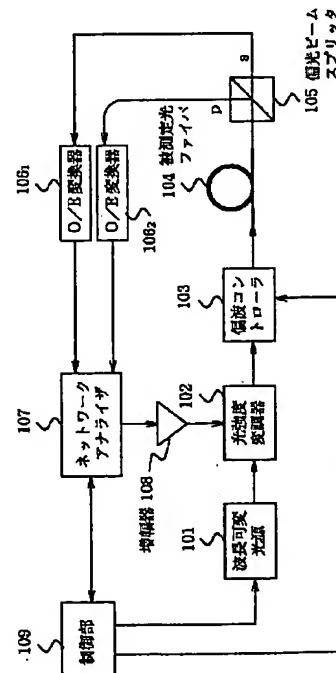
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 偏波モード分散の測定装置

(57)【要約】

【課題】 被測定対象の範囲をより広いものとすることができる偏波モード分散の測定装置を実現すること。

【解決手段】 出力光の波長が調節可能な波長可変光源と、波長可変光源の出力光の強度変調を行う光強度変調器と、光強度変調器出力の偏波状態を制御する偏波コントローラと、偏光ビームスプリッタと、偏光ビームスプリッタが出力するp偏光成分およびs偏光成分のそれぞれを電気信号に変換するO/E変換器と、光強度変調器を介して波長可変光源の出力光の強度が所定の周波数の正弦波となるように調整するとともに、波長可変光源および偏波コントローラの動作を制御し、O/E変換器の出力から被測定物の伝達関数行列を構成するパラメータを求め、この求められたパラメータにより定義される偏波モード分散を求める解析手段を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 出力光の波長が調節可能な波長可変光源と、

前記波長可変光源の出力光の強度変調を行う光強度変調器と、

前記光強度変調器出力の偏波状態を制御する偏波コントローラと、

入射光をp偏光成分およびs偏光成分に分けて出力する偏光ビームスプリッタと、

前記偏光ビームスプリッタが出力するp偏光成分およびs偏光成分のそれぞれを電気信号に変換するO/E変換器と、

前記光強度変調器を介して前記波長可変光源の出力光の強度が所定の周波数の正弦波となるように調整するとともに、前記波長可変光源および偏波コントローラの動作を制御し、前記O/E変換器の出力から被測定物の伝達関数行列を構成するパラメータを求め、この求められたパラメータにより定義される偏波モード分散を求める解析手段を有し、

前記偏波コントローラと偏光ビームスプリッタとの間に設置される被測定物の偏波モード分散を測定する偏波モード分散の測定装置。

【請求項2】 請求項1記載の偏波モード分散の測定装置において、

解析手段が、

光強度変調器を介して波長可変光源の出力光の強度を変調し、O/E変換器の出力から被測定物の伝達関数行列を構成するパラメータを求めるネットワークアナライザと、

前記波長可変光源および偏波コントローラの動作を制御し、前記ネットワークアナライザにて求められた伝達関数行列を構成するパラメータにより定義される偏波モード分散を求める制御部から構成されることを特徴とする偏波モード分散の測定装置。

【請求項3】 請求項2記載の偏波モード分散の測定装置において、

制御部は、波長可変光源の波長掃引を行って測定を行うとともに、掃引する所定波長毎に、偏波コントローラの出力光を偏光ビームスプリッタのp方向に一致する直線偏波として被測定物へ入射させ、次に、前記偏波コントローラの出力光を90°回転させて前記偏光ビームスプリッタのs方向に一致する直線偏波として被測定物へ入射させることを特徴とする偏波モード分散の測定装置。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の偏波モード分散の測定装置において、

解析手段は、偏波コントローラと偏光ビームスプリッタとの間に被測定物を置かない状態での初期測定を予め行い、偏波コントローラと偏光ビームスプリッタとの間に被測定物を設置する実際の測定時の計測値を、初期測定時の計測値により構成することを特徴とする偏波モード

分散の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光通信に用いられる光ファイバの偏波モード分散の測定方法と測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光通信では、光信号が持つ情報量を増すために偏波面を用いて多値化することが行われている。

このため、光信号を伝送する光ファイバにおいては、導波光の偏波モードが揃ったものを用いることが必要とされ、使用する光ファイバについては導波周波数毎の偏波モード分散が測定される。

【0003】従来、この種の偏波モード分散の測定においては、ストークスパラメータを用いて定義される偏波モード分散が用いられていた。

【0004】ストークスパラメータは偏光度を含めた偏光の状態を表現する4つのパラメータであり、完全に偏った楕円偏光の直交するx、y成分を、

$$E_x = A_x \cos(\omega t - \Delta x)$$

$$E_y = A_y \cos(\omega t - \Delta y)$$

$$\Delta y - \Delta x = \Delta$$

としたときに、各パラメータS0、S1、S2、S3を以下のように表現するものである。

$$【0005】 S_0 = A_x^2 + A_y^2$$

$$S_1 = A_x^2 - A_y^2$$

$$S_2 = 2 A_x A_y \cos \Delta$$

$$S_3 = 2 A_x A_y \sin \Delta$$

完全に偏った光では  $S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$  の関係がある。なお、S0は光の強度を表現するパラメータであるため、偏波モード分散はストークスパラメータS1、S2、S3を用いて以下のように表わされる。

【0006】

【数1】

$$\tau_{\text{PMD}} = 2 \sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2} \dots \dots (1)$$

$$\alpha_1 = -\frac{\dot{S}_1}{2\sqrt{1-S_1^2}} \dots \dots (2)$$

$$\beta_1 = \frac{\dot{S}_2 \cdot S_3 - \dot{S}_3 \cdot S_2}{2(1-S_1^2)} \dots \dots (3)$$

図2は、ストークスパラメータによる偏波モード分散を測定する偏波状態測定装置の従来例の構成を示すブロック図である。

【0007】本従来例は、波長可変光源201、光カプラ202、ファイバ型偏光子203、被測定光ファイバ204、ストークス解析装置205、A/D変換器206、波長計207および制御装置208から構成されている。

【0008】波長可変光源201は出力光の波長が調節

可能であり、制御装置208が出力する制御信号に応じて出力光の波長を変化させる。光カプラ202は、波長可変光源201の出力光を2分割するもので、出力光のうちの一方はファイバ型偏光子203へ出力し、他方は波長計207へ出力する。ファイバ型偏光子203へ入力した光は、直線偏光とされた後に被測定光ファイバ204を介してストークス解析装置205へ入射する。ストークス解析装置205は、内部に検光子や受光素子（ともに不図示）等の光学測定部材を備えるもので、これらを用いて上記のストークスパラメータS0～S3を求め、ストークス解析装置205により求められたストークスパラメータS0～S3はA/D変換器206によってデジタル化された後に制御装置208に入力される。制御装置208には、ストークスパラメータS0～S3の他に波長計207が出力する測定光の波長を示す信号が入力されており、現在の波長可変光源201が出力している光の波長に対する偏波モード分散を上記の(1)～(3)式および入力されたストークスパラメータS1～S3を用いて求める。この後、制御装置208は波長可変光源201の出力光の波長を変化させて同様のことを繰り返す。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 上述した従来の偏波モード分散の測定方法においては、ストークスパラメータS1～S3を用いて(1)～(3)式のように偏波モード分散を定義している。ストークスパラメータS1が±1に近付くと、

【0010】

【数2】

$\bar{a}_1$

が発散してしまうため、ストークスパラメータS1が±1近傍となる被測定物に対しては偏波モード分散を求めることができないという問題点がある。

【0011】 本発明は上述したような従来の技術が有する問題点を鑑みてなされたものであって、被測定対象の範囲をより広いものとすることができる偏波モード分散の測定装置を実現することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】 本発明の偏波モード分散の測定装置は、出力光の波長が調節可能な波長可変光源と、前記波長可変光源の出力光の強度変調を行う光強度変調器と、前記光強度変調器出力の偏波状態を制御する偏波コントローラと、入射光をp偏光成分およびs偏光成分に分けて出力する偏光ビームスプリッタと、前記偏光ビームスプリッタが出力するp偏光成分およびs偏光成分のそれぞれを電気信号に変換するO/E変換器と、前記光強度変調器を介して前記波長可変光源の出力光の強度が所定の周波数の正弦波となるように調整するとともに、前記波長可変光源および偏波コントローラの動作を制御し、前記O/E変換器の出力から被測定物の伝達

関数行列を構成するパラメータを求め、この求められたパラメータにより定義される偏波モード分散を求める解析手段を有し、前記偏波コントローラと偏光ビームスプリッタとの間に設置される被測定物の偏波モード分散を測定する。

【0013】 この場合、解析手段が、光強度変調器を介して波長可変光源の出力光の強度を調整し、O/E変換器の出力から被測定物の伝達関数行列を構成するパラメータを求めるネットワークアナライザと、前記波長可変光源および偏波コントローラの動作を制御し、前記ネットワークアナライザにて求められた伝達関数行列を構成するパラメータにより定義される偏波モード分散を求める制御部から構成されてもよい。

【0014】 また、制御部は、波長可変光源の波長掃引を行って測定を行うとともに、掃引する所定波長毎に、偏波コントローラの出力光を偏光ビームスプリッタのp方向に一致する直線偏波として被測定物へ入射させ、次に、前記偏波コントローラの出力光を90°回転させて前記偏光ビームスプリッタのs方向に一致する直線偏波として被測定物へ入射させることとしてもよい。

【0015】 上記のいずれの場合においても、解析手段は、偏波コントローラと偏光ビームスプリッタとの間に被測定物を置かない状態での初期測定を予め行い、偏波コントローラと偏光ビームスプリッタとの間に被測定物を設置する実際の測定時の計測値を、初期測定時の計測値により構成することとしてもよい。

【0016】 「作用」 本発明においては、ストークスパラメータを用いて偏波モード分散を定義することにより偏波モード分散を求めることができなくなることを回避するために、偏光素子の特性を表わす被測定物の伝達関数行列を用いて偏波モード分散を定義している。

【0017】 被測定光ファイバの伝達関数行列[T]の行列要素の位相推移と振幅の周波数依存性は次式で定義される。

【0018】

【数3】

$$[T(\omega)] = \begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \dots\dots(4)$$

ここで、 $|T_{ij}|$ は各行列要素の振幅、 $\phi_{ij}$ は各行列要素の位相推移であり、ともに光周波数 $\omega$ の関数である。

【0019】 上記に基づいて偏波モード分散 $\tau_{PM}$ を定義すると、

【0020】

【数4】

$$\tau_{PM} = 2\sqrt{\theta^2 + \psi_1^2 \cos^2\theta + \psi_2^2 \sin^2\theta} \dots\dots(5)$$

となる。ここで、 $\theta$ は偏光角、 $\psi_1$ は光の進行方向に垂直な面内のある方向の位相推移、 $\psi_2$ は $\psi_1$ に直交する方向の位相推移、(5)式の各パラメータは(4)式の成分から以下のように求められる。

【0021】

$$\theta(\omega) = a \cos(|T_{11}|^2 - |T_{21}|^2) \dots\dots (6)$$

$$\psi_1(\omega) = (\phi_{11} - \phi_{21})/2, \psi_2(\omega) = (\phi_{21} - \phi_{12} + \pi)/2 \dots\dots (7)$$

したがって(4)式の各成分を測定し、(5)式から偏波モード分散 $\tau_{PMO}$ を求めることができる。

【0022】本発明では、式(7)における直交する2つの成分の位相推移の差成分 $\phi(\omega)$ と同相成分 $\psi(\omega)$ を以下のように定義する。

【0023】

$$\phi(\omega) = (\psi_1(\omega) - \psi_2(\omega))/2 \dots\dots (8)$$

$$\psi(\omega) = (\psi_1(\omega) + \psi_2(\omega))/2 \dots\dots (9)$$

$\theta(\omega)$ 、 $\phi(\omega)$ 、 $\psi(\omega)$ についてのテイラー展開はそれぞれ以下に示すものである。

【0024】

【数5】

$$\theta(\omega) = \theta_0 + \alpha_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2}\alpha_2(\omega - \omega_0)^2 \dots\dots (10)$$

$$\phi(\omega) = \phi_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2}\beta_2(\omega - \omega_0)^2 \dots\dots (11)$$

$$\psi(\omega) = \psi_0 + \gamma_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2}\gamma_2(\omega - \omega_0)^2 \dots\dots (12)$$

式(5)に示した本発明における偏波モード分散 $\tau_{PMO}$ を式(10)、(11)、(12)を用いて表現すると以下のものとなる。

【0025】

【数6】

$$\tau_{PMO} = 2\sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2 + \gamma_1^2 + 2\beta_1\gamma_1\cos 2\theta_0} \dots\dots (13)$$

このように、本発明において定義される偏波モード分散 $\tau_{PMO}$ は、 $\{\theta, \phi, \psi\}$ の3つのパラメータを含むものとなっている。

【0026】従来のストークスパラメータを用いて定義される偏波モード分散は、

【0027】

【数7】

$$\tau_{PMOS} = 2\sqrt{\alpha_1^2 + \beta_1^2}$$

であり、 $\{\theta, \phi\}$ の2つのパラメータしか含まれてなく、同相成分 $\psi$ がないことから上述したストークスパラメータS1が $\pm 1$ 近傍となると発散してしまうという問題点が生じていたが、本発明では、 $\{\theta, \phi, \psi\}$ の3つのパラメータを測定し、これにより偏波モード分散を定義しているので、ストークスパラメータを用いて定義する従来例と異なり、偏波モード分散 $\tau_{PMO}$ が測定できないことがなくなり、被測定対象の範囲を広げることができるものとなっている。

【0028】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0029】図1は本発明による偏波モード分散を測定する偏波状態測定装置の一実施例の構成を示すブロック図である。

【0030】本実施例は、出力光の波長が調節可能な波長可変光源101、光強度変調器102、偏波コントローラ103、被測定光ファイバ104、偏光ビームスプリッタ105、O/E変換器106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub>、ネットワークアナライザ107、増幅器108およびネットワークアナライザ107とともに解析手段を構成する制御部109からなるものである。

【0031】光強度変調器102は入力光の強度変調を行うもので、波長可変光源101の出力光を強度が数GHz程度の固定の周波数 $f_m$ の正弦波となるように強度変調して偏波コントローラ103へ出力する。偏波コントローラ103は入力光の偏波状態を制御可能なものであり、その出力光は被測定光ファイバ104を介して偏光ビームスプリッタ105に入射される。偏光ビームスプリッタ105のs偏光成分およびp偏光成分は、O/E変換器106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub>をそれぞれ介することにより電気信号に変換されてネットワークアナライザ107に入力される。ネットワークアナライザ107は該入力値から偏波モード分散 $\tau_{PMO}$ を求め、また、増幅器108を介して光変調器102における強度変調比を制御している。制御部109は、ネットワークアナライザ107の動作状態に応じて波長可変光源101の出力波長の制御や偏波コントローラ103における偏波状態の制御を行う。

【0032】なお、ネットワークアナライザ107は、正確な偏波モード分散 $\tau_{PMO}$ を求めるために、予め測定された被測定光ファイバ104を通さない波長可変光源101の各波長毎の出力光についてのs偏光成分およびp偏光成分の値を記憶しており、該記憶値に基づいてO/E変換器106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub>の出力値を校正して偏波モード分散 $\tau_{PMO}$ を求め、測定精度の向上を図っている。

【0033】上記のように構成される本実施例の動作について以下に説明する。

【0034】測定が開始されると、制御部109は偏波コントローラ103の出力光を偏光ビームスプリッタ105のp方向に一致する直線偏波として被測定光ファイバ104へ入射させる。このときの被測定光ファイバ104の出力光は以下の式により表わされる。

【0035】

【数8】

$$\begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} \text{ (p成分)} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} \text{ (s成分)} \end{bmatrix} \dots\dots (14)$$

上記の出力光は偏光ビームスプリッタ105によりs偏光成分およびp偏光成分に分離されてO/E変換器106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub>に入射されて

【0036】

【数9】

$$|T_{11}|e^{-j\phi_{11}}, |T_{21}|e^{-j\phi_{21}}$$

が測定される。

【0037】上記の測定が終了すると、制御部109は偏波コントローラ103の出力光を90°回転させて偏光ビームスプリッタ105のs方向に一致する直線偏波として被測定光ファイバ104へ入射させる。このときの被測定光ファイバ104の出力光は以下の式により表わされる。

【0038】

【数10】

$$\begin{bmatrix} |T_{11}|e^{-j\phi_{11}} & |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \\ |T_{21}|e^{-j\phi_{21}} & |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |T_{12}|e^{-j\phi_{12}} \text{ (p成分)} \\ |T_{22}|e^{-j\phi_{22}} \text{ (s成分)} \end{bmatrix} \dots\dots(15)$$

上記の出力光は偏光ビームスプリッタ105によりs偏光成分およびp偏光成分に分離されてO/E変換器106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub>に入射されて

【0039】

【数11】

$$|T_{12}|e^{-j\phi_{12}}, |T_{22}|e^{-j\phi_{22}}$$

が測定される。

【0040】ネットワークアナライザ107は上記のようにして測定された各パラメータと式(6)、式(7)から、 $\theta$ 、 $\psi_1$ 、 $\psi_2$ を求める。

【0041】この後、上記の測定が波長可変光源101\*

\*の出力波長を掃引して行われ、各測定結果から $\theta$

( $\omega$ )、 $\psi_1(\omega)$ 、 $\psi_2(\omega)$ が求められ、制御部109は式(5)から偏波モード分散 $\tau_{pm}$ が求まる。

【0042】なお、以上説明した実施例においてはO/E変換器はp偏光成分およびs偏光成分のそれぞれについて設けられるものとして説明したが、各偏光成分を1つのO/E変換器に入射する構成とし、装置構成の簡略化を図ってもよい。

【0043】

【発明の効果】本発明は以上説明したように構成されているので、以下に記載するような効果を奏する。

【0044】請求項1乃至請求項3に記載のものにおいては、測定不能となるパラメータの値がなくなり、被測定対象の範囲をより広いものとすることができる効果がある。

【0045】請求項4に記載のものにおいては、上記効果に加えて、測定精度が向上する効果がある。

【図面の簡単な説明】

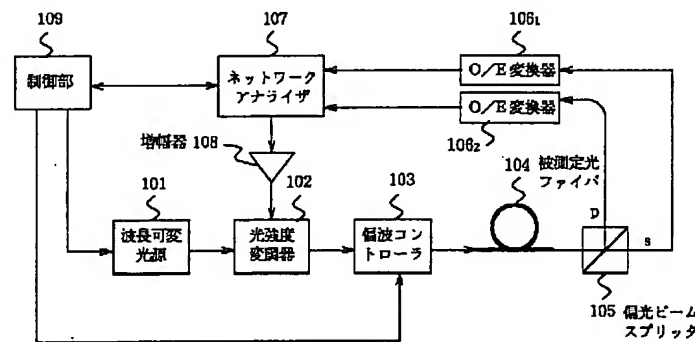
【図1】本発明の一実施例の構成を示すブロック図である。

【図2】従来例の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 101 波長可変光源
- 102 光強度変調器
- 103 偏波コントローラ
- 104 被測定光ファイバ
- 105 偏光ビームスプリッタ
- 106<sub>1</sub>、106<sub>2</sub> O/E変換器
- 107 ネットワークアナライザ
- 108 増幅器
- 109 制御部

【図1】



【図 2】

